

И. В. Синяковская, В. В. Зайков

ТИПЫ ПИРОФИЛЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СКЛАДЧАТЫХ ПОЯСАХ

I. V. Sinyakovskaya, V. V. Zaykov

THE TYPES OF PYROPHYLLITE DEPOSITS IN FOLDBELTS

In term of geological position and conditions of formation with use of a modern geodynamic basis 5 types of pyrophyllite deposits are established. First and second are connected to hydrothermally altered rocks in acidic and intermediate volcanogenic suites. Its differ by character of metasomatites and their subsequent transformations in various volcanic conditions. The third type includes deposits and occurrences of metamorphogenic-metasomatic genesis and is caused by transformations of a green-shist facies of terrigenous-sedimentary interbeds among volcanites of acidic composition. The fourth type is connected to low and mid-temperature stages of formation of hydrothermal veins within the limits of volcanogenic and metamorphic stratum. The deposits of weathering crusts on metamorphic stratum and metasomatites, containing a pyrophyllite mineralization concern to the fifth type.

Введение

Пирофиллитовые месторождения разрабатываются для производства керамических и огнеупорных изделий, наполнителей инсектицидов, бумаги, резины, пластмасс. Годовая добыча составляет (тыс. т): Япония 800—1000, Южная Корея 350—500, США 800—850, Индия 30, Австралия 20, Таиланд 10. Сведения по пирофиллитовому сырью России и зарубежных стран разрознены и неравноценны по содержанию [1, 4, 9, 20, 28]. Обзор предложенных способов типизации месторождений дан в работе [42]. Авторы дополнили принятую типизацию пирофиллитового сырья с использованием современной геодинамической основы.

По геологической позиции и условиям образования месторождения пирофиллитового сырья подразделены на 5 типов (рис. 1, табл. 1). Первые два связаны с гидротермально измененными породами в кислых или средних вулканогенных толщах и отличаются характером метасоматитов и их последующими преобразованиями. Третий тип включает месторождения и проявления

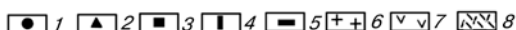
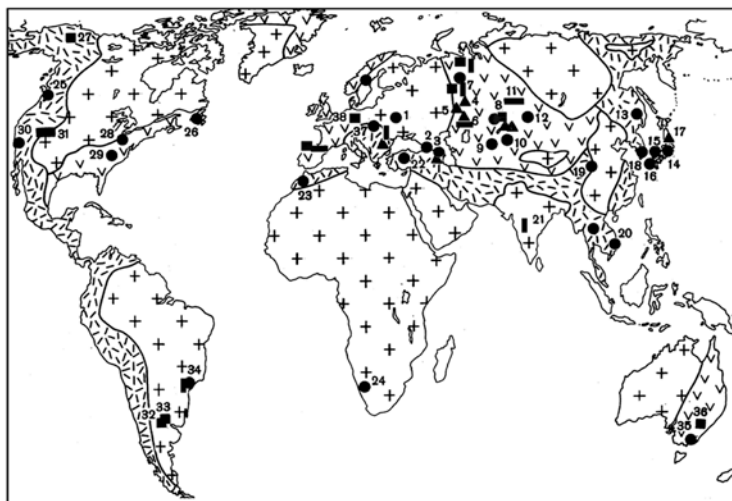


Рис. 1. Схема размещения месторождений пирофиллитового сырья:

1—5 — типы месторождений: 1 — метасоматитов континентальных и окраинно-континентальных вулканических зон, 2 — метасоматитов островных дуг и окраинных морей, 3 — метаморфизованных терригенно-глинистых толщ, 4 — гидротермальных жил в метасоматитах платформ и складчатых поясов, 5 — кор выветривания по метаморфитам и метасоматитам складчатых поясов; 6—8 — тектоническая основа: 6 — древние платформы и докембрийские складчатые зоны, 7 — палеозойские складчатые зоны, 8 — мезозойско-кайнозойские складчатые зоны.

Цифрами помечены месторождения: 1 — Овручское (Украина); 2, 3 — Кавказ: 2 — Кырвакарское, 3 — Бектакарское; 4—6 — Урал: 4 — Чистогоровское, 5 — Куль-Юрт-Тау, 6 — Гайское, 7 — Березовское; 8—10 — Казакстан: 8 — Спасское, Суранское, 9 — Акташское, 10 — Тереклисайское; 11, 12 — Алтай: 11 — Каменское, 12 — Рудноалтайское; 13 — Бикинское (Сихотэ-Алинь); 14—17 — Япония: 14 — Айти, 15 — Мицуиси, Хиросима, 16 — Нагасаки, 17 — Эзури; 18 — Южная Корея; 19 — Тзин-Тиу (Китай); 20 — Тан-Май (Вьетнам); 21 — Уттар-Прадеш (Индия); 22 — Турция; 23 — Марокко; 24 — Трансвааль (ЮАР); 25, 26 — Канада: 25 — Ванкувер, 26 — Фокстрап; 27—31 — США: 27 — Аляска, 28 — Северная Каролина, 29 — Джорджия, 30 — Калифорния, 31 — Клинтон; 32, 33 — Аргентина: 32 — Лома-Бланка, 33 — Лас-Агилас, 34 — Минас-Жерайс (Бразилия); 35, 36 — Австралия: 35 — Памбула, 36 — Камбеварра; 37 — Яворские горы (Словакия); 38 — Эббезаттель (Германия)

метаморфоогенно-метасоматического генезиса и связан с зеленосланцевой фацией метаморфизма терригенно-осадочных прослоев среди кислых вулканитов. На низко- и среднетемпературных стадиях образования гидротермальных жил в пределах вулканогенных и метаморфических толщ проявляется четвертый тип. К

Таблица 1

Типы месторождений пирофиллитового сырья

Тип, геодинамическая обстановка	Рудовмещающая формация, возраст	Строение и параметры залежей (мощность, м)	Состав сырья	Примеры (№ см. на рис. 1)
1	2	3	4	5
I. Метасоматиты внутриконтинентальных и окраинно-континентальных вулканических зон	Трахиандезитовая, трахириолитовая докембрийских платформ.	Линейные зоны, линзы (п·10) вдоль разломов на контактах с плутонами; пласты (п·1) в туфоосадочных пачках.	Пирофиллитовый, пирофиллит-кварцевый, серицит-пирофиллитовый.	Восточно-Европейская платформа (1); Северо-Американская платформа (26, 28); Южно-Американская платформа (34); Африканская платформа (24).
	Дацит-риолитовая, риолитовая палеозойских активных континентальных окраин.	Линзы, полосы (п·10), тела неправильной формы в массивах вторичных кварцитов и в зонах разломов.	Пирофиллитовый, диаспор- и каолинит-пирофиллитовый, хлорит-пирофиллитовый.	Урало-Монгольский пояс (7—10, 12); Восточно-Австралийский пояс (35), Восточно-Атлантический пояс (29).
	Андезит-дацит-риолитовая мезозойско-кайнозойских активных континентальных окраин.	Залежи пластовой и линзообразной формы (п·10), неправильной формы (30—60 × 300—800), крутопадающие зоны в тектонических нарушениях (п·10).	Кварц-пирофиллитовый, диаспор-пирофиллитовый, пирофиллитовый, каолинит-пирофиллитовый, серицит-пирофиллитовый.	Западно-Тихоокеанский пояс (13—20); Восточно-Тихоокеанский пояс (25, 30); Средиземноморский пояс (2, 3, 22, 23, 37).

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
<p>II. Метасоматиты островных дуг и окраинных морей</p>	<p>Риолит-базальтовая колчеданосная палеозойских активных континентальных окраин.</p>	<p>Полосы (n=10) протяженностью до 1500 м по простиранию колчеданосных зон.</p>	<p>Кварц-пиррофиллитовый, пиррофиллит-кварцевый, серицит-пиррофиллит-кварцевый, диаспор-пиррофиллитовый, пиррофиллитовый.</p>	<p>Урало-Монгольский пояс (4—6).</p>
	<p>«Зеленых туфов» мезозойских островных дуг.</p>	<p>Неправильной формы (100—300 × 300—600), крутопадающие зоны вдоль контактов с плутонами.</p>	<p>Пиррофиллит-каолинит-серицит-хлоритовая; пиррофиллит-кварц-диаспор-серицит-алунитовая минерализация</p>	<p>Западно-Тихоокеанский пояс.</p>
<p>III. Метаморфизованные терригенно-глинистые образования платформ и складчатых поясов.</p>	<p>Терригенно-глинистая палеозойских и мезозойских пассивных континентальных окраин, внутренних морей и угленосных впадин.</p>	<p>Пласты и прослои (1—n=10) среди метаморфизованных терригенных и глинистых толщ.</p>	<p>Кварц-хлорит-пиррофиллит-серицитовый, каолинит-пиррофиллит-иллитовый, каолинит-пиррофиллитовый.</p>	<p>Восточно-Европейская платформа (38); Южно-Американская платформа (32, 33); Восточно-Австралийский пояс (36), Восточно-Тихоокеанский пояс (27).</p>

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5
<p>IV. Гидротермальные жилы в метасоматитах платформ и складчатых поясов</p>	<p>Кварцево-жильная среди гранитоидов докембрия и метаморфических пород палеозоя.</p>	<p>Зоны ($n \cdot 0.01$—$n \cdot 1$) параллельные контактам жил.</p>	<p>Пирофиллитовый, мусковит-пиро-филлитовый, диаспор-пирофиллитовый, каолинит-пирофиллит-мусковитовый.</p>	<p>Индийская платформа (21), Урало-Монгольский пояс.</p>
<p>V. Коры выветривания по метаморфитам и метасоматитам складчатых поясов.</p>	<p>Кор выветривания сланцев, образованных при метасоматозе палеозойских и мезозойских пород.</p>	<p>Линейные коры выветривания (15—20) протяженностью $n \cdot 100$ м.</p>	<p>Иллит-монтмориллонит-пирофиллитовый, каолинит-пиро-филлитовый.</p>	<p>Восточно-Тихоокеанский пояс (31), Урало-Монгольский пояс (11).</p>

тому типу относятся коры выветривания по метаморфитам и метасоматитам, содержащим пиррофиллитовую минерализацию.

Типизация

1. Месторождения в метасоматитах внутриконтинентальных и окраинно-континентальных вулканических зон. Рудовмещающие образования преимущественно кислого и среднего состава относятся к известково-щелочной или щелочной сериям с кали-натриевой и калиевой специализацией. Месторождения пиррофиллита этого типа обычно связаны с вулканогенными метасоматитами ряда «вторичные кварциты – пропициты». Они расположены в рифтовых структурах платформ и на активных континентальных окраинах.

Пиррофиллитовое сырье *докембрийских платформ* установлено на Украине, в Швеции, Ю. Африке, США, Канаде, Бразилии.

На территории Восточно-Европейской платформы пиррофиллитовые месторождения расположены в пределах Овручского рифта. Вмещающие отложения представлены осадочно-вулканогенной серией верхнего протерозоя. Толща кварцитовидных песчаников с прослоями пиррофиллитсодержащих пород залегает на вулканиках трахиандезитовой формации (рис. 2). Образование пиррофиллита связано с метасоматическим преобразованием туфогенного и переотложенного туфо-каолинитового материала в процессе гидротермальной поствулканической деятельности в постовручский этап складчатости [13]. Это устанавливается по реликтовым текстурам и структурам пород, по невыдержанной мощности пиррофиллитсодержащих прослоев.

Депрессионное строение вулканической структуры вызвало накопление обогащенных эндогенными компонентами вод в придонной части замкнутого бассейна, что явилось благоприятным фактором для проявления гидротерм. На территории провинции наиболее известны два месторождения — Курьяновское и Нагорянское. Пиррофиллитсодержащие пласты имеют мощность 0.7—2.5 м, в центральной части сложены практически мономинеральным высококачественным пиррофиллитом, а в приконтактовых частях содержат от 10 до 50 % примеси других минералов — диккита, хлорита, кварца, гематита, лимонита, что отражается на их химическом составе (табл. 2).

На Северо-Американской платформе пиррофиллитовые месторождения приурочены к зоне ее сочленения с каледонидами

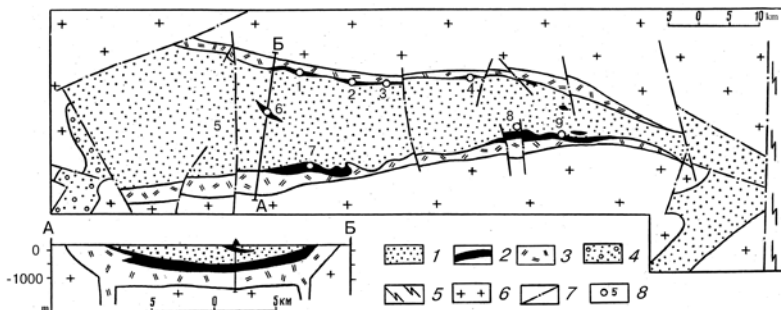


Рис. 2. Схема геологического строения Овручского рифта, по [4]:

1, 2 — толкачевская свита, верхний протерозой: 1 — кварцитовидные песчаники, 2 — пачки с пиррофиллитовыми и серицит-пиррофиллит-кварцевыми сланцами; 3 — збранковская свита, верхний протерозой (трахиандезиты, риолиты, базальтоиды, прослои песчаников, в основании местами базальные конгломераты); 4 — пугачевская серия, средний протерозой (сланцы кварц-серицитовые, песчаники полимиктовые, разнозернистые кварциты, пластовые тела и дайки диабазов); 5 — кировоградско-житомирский комплекс, нижний протерозой (мигматиты); 6 — коростеньский и кишинский комплексы, нижний—средний протерозой (гранитоиды); 7 — дизъюнктивные нарушения; 8 — месторождения и проявления пиррофиллитового сырья: 1 — Девошинское, 2 — Млынищевское, 3 — Прилуцкое, 4 — Бережестевское, 5 — Можары, 6 — Нагорянское, 7 — Курьяновское, 8 — Шишаловское, 9 — Старопереездовское

Аппалачей и Ньюфаундленда. Пиррофиллитовый рудник Фокс-трап (Канада), действующий с 1956 г., ежегодно дает 27—36 тыс. т сырья [31]. Вмещающие породы представлены лавами и пиррокластическими отложениями риолитового состава, метаморфизованными в зеленосланцевой фации. Они интродированы вендскими гранитоидами и подвержены окварцеванию и серицитизации в контактовой зоне 1—2 км шириной. Пиррофиллит развит в полосах интенсивного рассланцевания протяженностью около 7 км, наложенных на эти зоны. Преобладающий состав пород кварц-пиррофиллитовый, серицит-пиррофиллитовый с нодулями диаспора и примесью каолинита и гематита. Установлено, что образование пиррофиллита на месторождении происходит в интервале температур 275—340 °С при давлении воды 1 кбар [37].

В Северной Каролине, США [32] рудоносными являются докембрийские туфы и кислые брекчии с глинистыми прослоями, секущиеся дайками диабазов. Линзы кварц-пиррофиллитовых и серицит-кварц-пиррофиллитовых пород размерами 45—150×200—700 м, имеют протяженность по падению более 150 м. Это месторождение составляет более половины запасов США и служит основным поставщиком пиррофиллитового сырья (78 тыс. т/год). Меньшие по масштабам объекты такого типа имеются в штате Джорджия.

**Химический состав пиррофиллитового сырья
некоторых месторождений Овручского рифта (мас. %)**

Оксиды	Курьяновское (6)		Нагорянское (11)	
	А	В	С	Д
SiO ₂	55.52	63.72	68.13	76.23
TiO ₂	0.68	0.55	0.86	0.64
Al ₂ O ₃	31.85	28.04	19.61	14.97
Fe ₂ O ₃	1.57	0.65	7.03	4.66
FeO	–	Не опр.	–	0.37
CaO	0.05	0.24	0.40	0.18
MgO	–	0.05	0.16	0.11
Na ₂ O	0.12	0.43	–	0.07
K ₂ O		0.12	0.20	0.18
ппп	10.22	5.70	3.66	2.83

Примечание: Типы: А — каолинит-пиррофиллитовый; В — пиррофиллитовый; С — кварц-пиррофиллитовый; Д — пиррофиллит-кварцевый. В скобках указано количество проб.

На Южно-Американской платформе месторождение пиррофиллитового сырья расположено на территории Бразилии (штат Минас-Жерайс). Породы, состоящие из пиррофиллита, мусковита, диаспора, кианита и кварца классифицируются как агальматолиды. Рудные тела имеют форму линз, эллипсоидов, залегают среди серицитовых или серицит-хлорит-кварцевых сланцев, ассоциируют с гнейсами и гранитами докембрийского возраста. На 1986 год общие запасы сырья составили 13392000 тонн [33].

В пределах Африканской платформы известно месторождение Трансвааль на территории ЮАР.

К палеозойским активным континентальным окраинам приурочены пиррофиллитовые месторождения Средней Азии, Казахстана, Австралии.

В пределах Урало-Монгольского складчатого пояса известны месторождения, связанные с массивами вторичных кварцитов. Наиболее изученными являются Спасское и Суранское, расположенные возле Караганды [9, 17]. Вмещающей является толща континентальных лав девонских андезитов-базальтов, прорванная многочисленными субвулканическими телами дацитов и риолитов (рис. 3). Спасское месторождение представлено кулисообразными телами кварц-пиррофиллитовых и пиррофиллитовых сланцев. Эти тела залегают в зоне расланцевания среди вторичных кварцитов. В поперечном сечении тел меняется количественное соотношение пиррофиллита, кварца, пирита, ярозита.

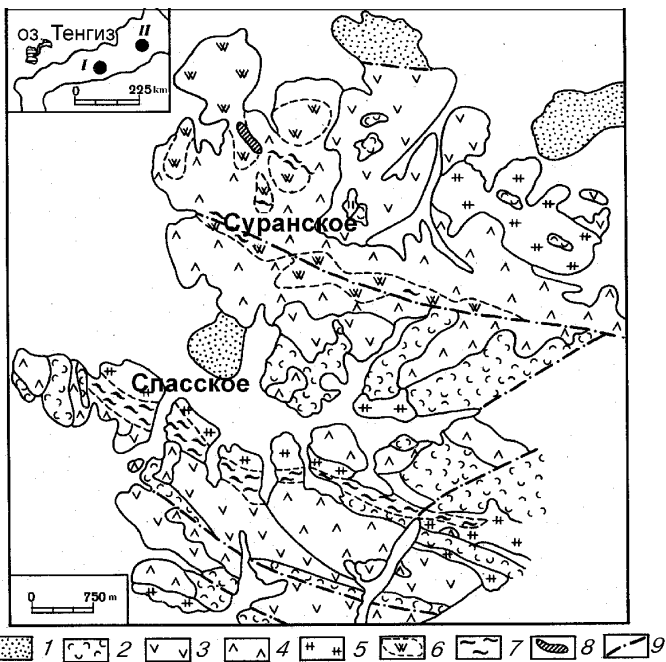


Рис. 3. Схематическая геологическая карта района Суранского и Спасского месторождений, по [4]:

1 — нижний карбон (алевролиты, известняки, мергели); 2—5 — ранне-среднедевонская базальт-андезит-риолитовая формация: 2 — вулканогенно-обломочные породы и туфы андезитового, андезито-базальтового, риолитового состава, 3 — лавы андезитового и андезито-базальтового состава, 4 — субвулканические интрузии риолитов и дацитов, 5 — дациты; 6 — вторичные кварциты; 7 — пиррофиллитовые и пиррофиллит-кварцевые сланцы, пиррофиллитовые кварциты; 8 — алунитовые кварциты; 9 — разломы.

На врезке: Положение участков с пиррофиллитовой минерализацией в широтном отрезке Казахстанского вулканического пояса (I — Суранский и Спасский; II — Семизбугинский)

Вследствие пиритизации в породах повышено содержание железа (табл. 3). Суранское месторождение приурочено к массиву вторичных кварцитов, образовавшихся при гидротермальной переработке субвулканических плагиоклазовых дацитов. В массиве выделяются монокварциты, пиррофиллитовые и алунитовые кварциты, связанные постепенными переходами. Присутствуют отдельные линзы чисто пиррофиллитовых пород.

Месторождения Восточно-Австралийского складчатого пояса расположены на территории Нового Южного Уэльса [20, 30]. Наиболее крупное из них — Памбула (запасы 10 млн т) —

**Химический состав пирофиллитсодержащих пород
Спасского и Суранского месторождений (мас. %)**

Оксиды	Спасское			Суранское
	А	В	С	Д
SiO ₂	66.20	63.30	63.90	69.20
TiO ₂	1.20	0.90	—	—
Al ₂ O ₃	23.40	21.10	25.10	24.20
Fe ₂ O ₃ +FeO	2.10	6.50	1.90	2.00
CaO	0.10	0.30	0.70	0.60
MgO	0.50	0.30	0.30	0.30
Na ₂ O	0.40	0.40	2.20	0.20
K ₂ O	0.30	0.40		0.20
ппп	5.90	6.40	5.50	5.50

Примечание: Типы: А — пирофиллитовый; В — гематит-пирофиллитовый; С — кварц-серицит-пирофиллитовый. Д — кварц-пирофиллитовый.

приурочено к верхнедевонскому комплексу пород, представленному последовательностью флюидальные риолиты — вулканические брекчии — пирокластические образования. Исходная толща выполняет рифтовую долину, имеет восточное падение под углом 40° и северное простирание, а пирофиллитсодержащая залежь с вертикальным падением пересекает ее в северо-западном направлении. Формирование пирофиллита связано с гидротермальным преобразованием материнских пород в процессе глубинного метаморфизма. Степень изменения отражается в зональном строении залежи. В центральной (ядерной) ее части преобладает пирофиллит с подчиненным количеством диаспора и кукеита (высоколитиевого хлорита) [25]. Далее следуют невыдержанные по мощности зоны пирофиллита с пятнистыми обособлениями халцедона или четкими линзовидными серицитовыми образованиями, которые постепенно переходят в материнские породы. Таким образом, степень изменения понижается от максимально метаморфизованных пород (хлорит-пирофиллитовое ядро) до неизменных риолитовых брекчий [30].

В мезозойско-кайнозойских активных континентальных окраинах известны пирофиллитовые месторождения США, Канады, Марокко, Китая, Новой Зеландии, Кореи, Японии, Вьетнама, Грузии, Азербайджана.

В Японии пирофиллитовое сырье под названием «росэки» (восковой камень) добывается с 30-х годов XX века для использования в керамической, фарфоровой промышленности и в каче-

стве наполнителей. Количество действующих рудников около 80, общие запасы «росэки» в Японии 60 млн т, добыча составила в 1980 г. более 1 млн т [2, 22, 23].

Месторождения в вулканогенных формациях позднего мела — палеогена сосредоточены на юго-западе Японии, где выделяется четыре района их развития: Мицуиси, Шокодзан (Чугоку), Уку и Гото. Наиболее крупные объекты с запасами до 10 млн т расположены в районе Мицуиси (префектура Окаяма), где добывается около половины всего количества сырья. Пиррофиллитосодержащие залежи трубообразной или неправильной формы обычно встречаются в риолитах или штоках кварцевых порфиров третичного возраста или мела. Вторым по значению является остров Гото с диаспор-пиррофиллитовыми месторождениями, примером которых является Йокомичи [22]. Их положение в разрезе контролируется разрывами, трещинами и плоскостями напластований в вулканических породах. Они часто располагаются вблизи контакта с субвулканическими интрузиями. Форма залежей линзовидная, пластообразная, грибовидная с «корнями», фиксирующими пути продвижения гидротермальных растворов.

Обычно в породах содержится кварц, каолинит, диксит, бемит, диаспор, корунд, андалузит, серицит, алунит, пирит, гематит, рутил, редко дюмортьерит и зунит. Корунд и андалузит образуются первыми при высоких температурах; в дальнейшем корунд переходит в диаспор. Андалузит часто замещается каолинитом, а корунд на границе с кварцем всегда окаймлен пиррофиллитовыми агрегатами. Установлено зональное расположение различных типов «росэки» в пределах месторождений (рис. 4). Химический состав «росэки» из разных месторождений приведен в таблице 4. Формирование месторождений, судя по минералогическим парагенезисам и геологической позиции, происходило на глубинах порядка 300 м.

Месторождения сходного генезиса в мезозойских вулканах известны в Новой Зеландии, Южной Корее, Китае, Вьетнаме [27, 35, 38, 39]. В России к этому типу относится Бикинское пиррофиллитовое месторождение, приуроченное к калиевым вулканогенным породам кислого состава мелового возраста. Преобладающий тип сырья — пиррофиллитовые кварциты, развитые на площади 80×500 м с примесью серицита, каолинита, диккита, андалузита, корунда. Их образование связано с гидротермальным преобразованием вмещающих пород на контакте с субвулканической интрузией.

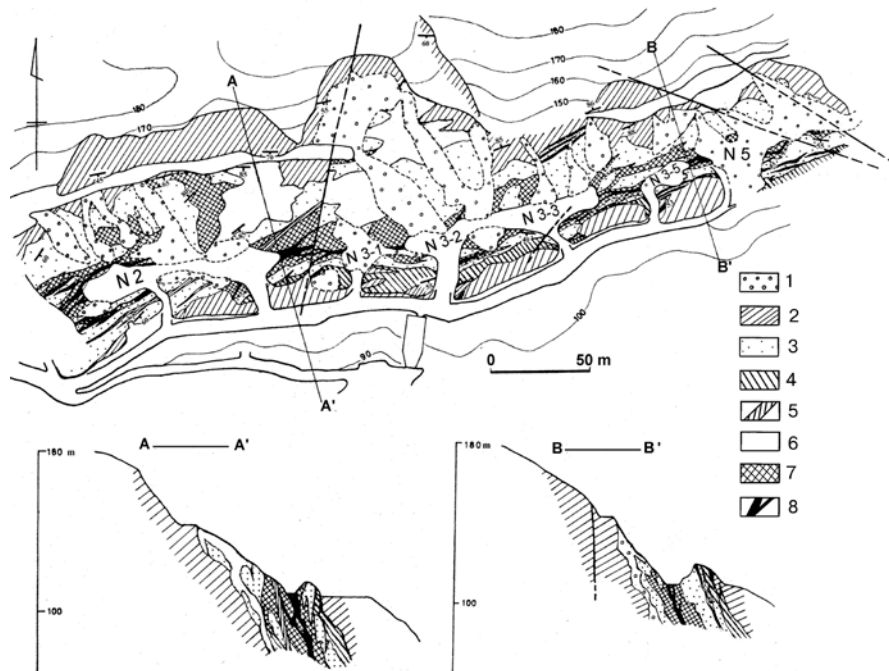


Рис. 4. Размещение измененных пород в пределах центрального рудного тела Чуо-Котай, район Уку, по [23]:

1 — пустые породы и обломки; 2 — серицитовая зона; 3 — вкрапленность пирита; 4 — вкрапленность гематита; 5 — белая глиняная жила; 6 — кварц-андалузитовая подзона; 7 — кварц-андалузит-пирофиллитовая подзона; 8 — андалузит-пирофиллит-каолинитовая подзона.

AA' и BB' — разрезы по линиям

Таблица 4

Химический состав пирофиллитовых руд некоторых месторождений росэки, Япония (по [23, 28])

Оксиды	Префектура Ямагучи [Т. Tokitsu, М. Ueno, 1958]								Префектура Хиросима				
	Уку		Нако		Набури		Нига- шияма	Курата	Яно Шокозан [К. Matsumoto, 1968]			Камагамайн [М. Kamitani, 1970]	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
SiO ₂	58.23	82.76	58.56	80.76	58.36	56.86	74.22	66.37	60.25	70.39	76.64	67.77	78.46
TiO ₂	–	–	0.08	0.08	1.00	0.90	0.19	0.24	0.34	0.31	0.31	0.02	0.02
Al ₂ O ₃	39.65	13.03	33.13	15.26	31.65	34.05	21.39	23.74	33.09	24.59	19.21	25.64	16.57
Fe ₂ O ₃	0.23	0.53	0.09	0.20	0.86	0.31	0.10	0.63	0.01	0.08	0.02	0.13	0.27
MgO	0.04	0.37	0.01	0.01	0.11	0.34	0.01	0.08					
CaO	0.01	следы	0.01	0.01	0.70		0.01	0.06	0.20	0.17	0.06		
Na ₂ O	0.02	–	0.10	0.09	0.26	0.24	0.12	0.35	0.01	0.01	0.01	0.47	0.27
K ₂ O	0.10	–	0.04	0.01	следы	следы	0.01	*	–	–	–	0.26	0.58
H ₂ O (+)	5.30	–	7.88	3.40			3.83	8.53					
H ₂ O (–)	0.30	–	0.26	0.12			0.16						
ппп	–	2.01			6.98	6.92			6.06	4.74	3.86	4.89	3.09
S					0.041	0.032							
Сумма	100.20	98.70	100.16	99.94	99.96	99.99	100.04	100.00	99.96	100.29	100.11	99.18	99.26

Примечания: * — сумма Na₂O+K₂O приведена в графе Na₂O; Типы: I, III — пирофиллитовый с каолинитом, корундом; II, IV, VII, XI, XIII — кремнистый; V, VI — пирофиллитовый с каолинитом; VIII — пирофиллитовый с каолинитом, кварцем; IX, X, XII — пирофиллитовый.

По восточной окраине Тихого океана пиррофиллитовые месторождения известны на острове Ванкувер (Канада) и в штате Калифорния (США). Залежи кварц-пиррофиллитового состава имеют мощность 30—60 м, протяженность сотни метров и приурочены к гидротермально измененным вулканитам мезозоя.

К Средиземноморскому поясу относятся метасоматические месторождения пиррофиллита в Марокко, Турции, Словакии [29, 36], Закавказье. По геологическим особенностям они сходны с японскими, но уступают по качеству руд. В Кавказской провинции, охватывающей мезозойские вулканические зоны Малого Кавказа [7, 8, 10], пиррофиллитовые месторождения известны в Азербайджане (Кырвакарское) и Грузии (Бектакарское, Шарукарское).

2. Месторождения в метасоматитах островных дуг и окраинных морей палеозойского и мезозойского возраста.

Рудовмещающей является бимодальная вулканогенная серия. Наиболее распространен этот тип месторождений в пределах Уральской *палеозойской островодужной складчатой системы*, где зоны пиррофиллитсодержащих метасоматитов являются составной частью серицит-кварцевой метасоматической формации, сопутствующей колчеданному оруденению.

Месторождения Чистогоровское, Куль-Юрт-Тау и Гай оценены как потенциальные источники пиррофиллитового сырья. Другие объекты — Подольское, Балта-Тау, Бакр-Тау, Мазарское, Узельга, Пышминское, Красногвардейское, Кабанское — содержат пиррофиллитовую минерализацию в пределах околорудной метасоматической колонки.

Чистогоровское месторождение расположено в западном борту Круглогорской синклинали, ограниченной одним из швов Главного Уральского разлома. Вмещающие породы представлены отложениями натровой риолит-базальтовой формацией среднего девона. Рудное тело в плане имеет линзовидную форму протяженностью 200 м при мощности 5—30 м, северо-восточное простирание и северо-западное падение под углом 70—75°. Минеральный состав пород — кварц, пиррофиллит, иногда серицит, хлорит, подсчитанные предварительные запасы сырья составляют не менее 0.5 млн т. Судя по характерному минеральному составу и реликтовым структурам пород, пиррофиллитсодержащие метасоматиты образовались по риодацитовым порфиритам.

Аналогично, на других объектах залежи пиррофиллитового сырья приурочены к апикальным и периферийным частям экс-

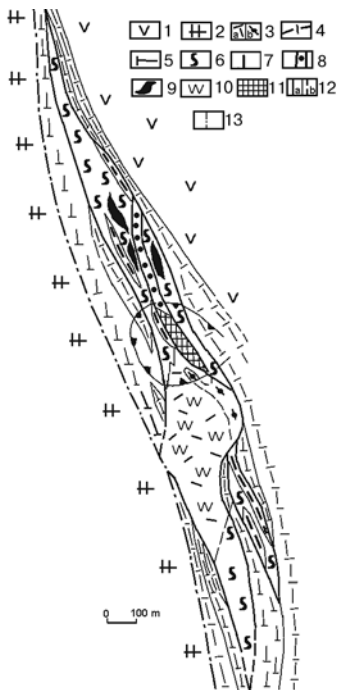


Рис. 5. Схематическая геологическая карта рудного поля Куль-Юрт-Тау по [12].

1 — лавы и вулканокластиты андезитов и андезибазальтов; 2 — лавы и субвулканические интрузии риодацитового состава; 3 — экструзивные риодациты ранней (а) и поздней (б) стадий; 4 — хлорит-серицит-кварцевые сланцы; 5 — серицит-кварцевые сланцы; 6 — пиррофиллит-кварцевые сланцы (1-й тип сырья); 7 — серицит-пиррофиллит-кварцевые сланцы (2-й тип сырья); 8 — серицит-диаспор-пиррофиллитовые породы (3-й тип сырья); 9 — пиррофиллитовые сланцы (4-й тип сырья); 10 — серицитовые, пиррофиллитовые, хлоритовые кварциты; 11 — серноколчеданная руда; 12 — геологические границы: а — установленные, б — предполагаемые; 13 — разломы

трузивно-эффузивных куполов. Исходные покровы (потоки) лав риолито-дацитов с прослоями вулканогенно-осадочных пород того же состава в процессе синрудного метасоматоза, сопровождавшегося выносом осно-

ваний и щелочей и привнесом глинозема при инертном поведении титана и кремнезема, превращены в пиррофиллитсодержащие метасоматиты.

Наиболее детально изучены месторождения Куль-Юрт-Тау (Башкортостан) и Гай (Оренбургская область), установлена связь процессов пиррофиллитизации и синрудного гидротермального метасоматоза исходных риодацитов вулканокупольных сооружений в интервале температур 300—420 °С. Текстурно-структурные особенности пиррофиллитсодержащих метасоматитов определяются позднепалеозойскими динамометаморфическими преобразованиями [12, 15]. Морфология залежей пиррофиллитового сырья и их мощности унаследованы от исходных вулканических потоков (рис. 5). Обычно это линзы длиной 0.6—1.5 км и шириной 100—140 м, в пределах которых сырье в соответствии с особенностями минерального и химического состава, представлено четырьмя типами: пиррофиллит-кварцевое низкощелочное ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 0.2—0.4 %); серицит-пиррофиллит-кварцевое щелочное ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 1.9—2.5 %); диаспор-серицит-пиррофиллитовое высокоглиноземистое (Al_2O_3 38.0—45.6 %); пиррофиллитовое глиноземистое (Al_2O_3 26.7—28.6 %) (табл. 5).

Таблица 5

Химический состав пиррофиллитового сырья некоторых месторождений Южного Урала (мас. %)

Оксиды	Куль-Юрт-Тай				Гай		Чистогорское
	I (432)	II (185)	III (42)	IV (11)	I (12)	II (31)	
SiO ₂	80.39	75.60	41.82	65.08	76.01	68.36	78.59
TiO ₂	0.28	0.35	0.83	0.52	0.52	0.43	0.56
Al ₂ O ₃	13.61	17.63	45.20	27.94	16.01	22.05	16.16
Fe ₂ O ₃	0.42	0.66	0.41	0.15	0.78	0.50	<0.05
FeO	1.22	1.50	0.22	0.09	0.43	0.42	<0.05
MnO	0.05	0.17	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05
MgO	0.14	0.21	0.30	0.26	0.15	0.09	0.14
CaO	0.20	0.21	0.43	0.05	0.31	0.16	0.10
Na ₂ O	0.12	0.53	0.78	0.22	0.21	0.33	0.23
K ₂ O	0.25	1.45	2.03	0.39	0.33	1.88	0.20
P ₂ O ₅	0.02	0.05	0.05	0.06	0.05	0.07	0.12
ппп	2.45	2.52	7.45	5.46	4.02	3.86	3.50
S	0.07	0.15	0.34	0.05	0.12	0.20	

Примечание: Типы: I — пиррофиллит-кварцевое низкощелочное, II — серицит-пиррофиллит-кварцевое щелочное, III — диаспор-серицит-пиррофиллитовое высокоглиноземистое, IV — пиррофиллитовое глиноземистое. В скобках указано количество проб.

Известно наличие пиррофиллита аналогичного генезиса в Майкайнской и Чингизской зонах Казахстана. Их отличительной особенностью является отсутствие сланцеватых текстур пиррофиллитовых пород в связи с тем, что динамометаморфическая стадия их преобразования на этих объектах не проявлена.

В *складчатых структурах мезозойского возраста* пиррофиллитовая минерализация проявлена в провинции «зеленых туфов» Японии, Болнисском районе юго-восточной Грузии, зоне Панагюрско в Болгарии.

Примером пиррофиллитизации в пределах формации «зеленых туфов», сопровождающей сульфидные залежи гидротермального происхождения, является рудник Ашио в центральной части острова Хонсю. По данным [24], формированию серии медных жил предшествовала пиррофиллитизация вмещающих кварцевых порфиров. Пиррофиллит распространен в трубкоподобных телах протяженностью до нескольких сотен метров. Аналогичная ситуация отмечена на месторождении Эзури (район Хокуроку, префектура Акита), где по данным [21] пиррофиллитовая

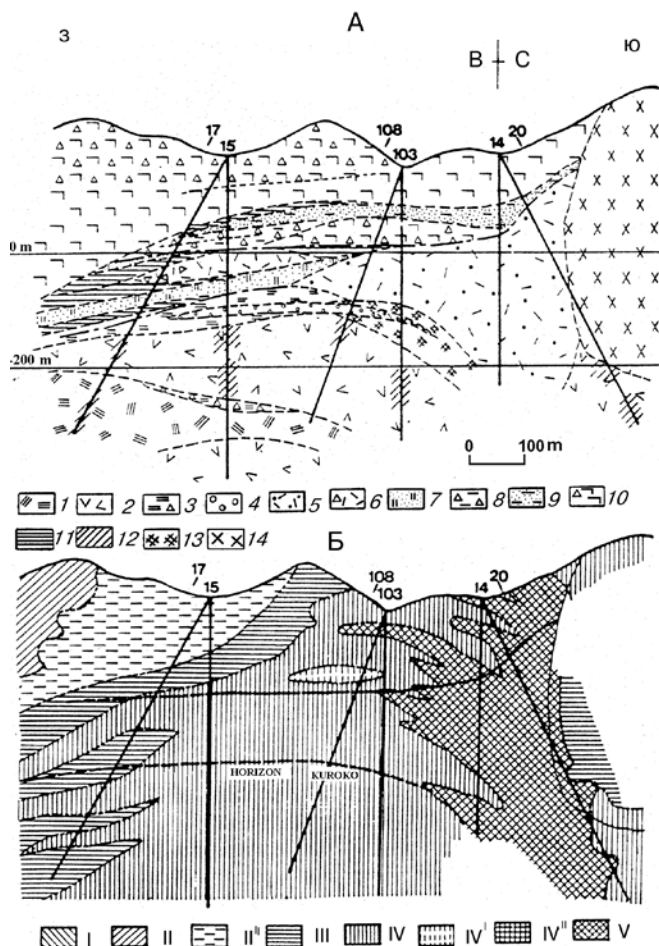


Рис. 6. Геологический профиль (верхний) и профиль зоны изменения (нижний) на месторождении Эзури, по [21]:

1—4 — формация Юкисава: 1 — неровный витрофировый дацитовый лавовый поток, обычно плагиоклазовый, 2 — афировый дацитовый лавовый купол, 3 — туфовая брекчия и слоеный туф, 4 — порфиритовый дацитовый покров и лава; 5—7 — формация Кагая: 5 — дацитовый лавовый купол, обычно кварцевый, 6 — афировый дацитовый лавовый поток и покров, 7 — мелко-крупнозернистый туф и лоскутный туф; 8—10 — формация Шигенаи: 8 — туфовая брекчия и пемзовый туф, 9 — мелко-крупнозернистый туф и стекловатый туф, 10 — афировый дацитовый лавовый поток; 11 — аргиллит; 12 — зоны штокверковой и вкрапленной сульфидной минерализации; 13 — долеритовый покров; 14 — невадит интрузивный.

Зоны изменения: I — α -кristобалит-монтмориллонит-цеолит-плагиоклазовая; II — плагиоклаз-монтмориллонит-(серичит-хлоритовая); II' — плагиоклаз-серичит-хлорит-(монтмориллонитовая); III — плагиоклаз-серичит-

хлоритовая; IV — серицит-хлоритовая; IV' — серицит-хлорит-монтмориллонитовая; IV'' — серицит-калишпатовая; V — пирофиллит-каолинит-диаспор-серицит-хлоритовая

минерализация связана с жильными телами, образовавшимися после отложения главной массы сульфидов. Район сложен преимущественно молодыми (до среднего миоцена) субмаринными кислыми вулканитами и их пирокластами. Формирование месторождения происходило в две стадии: 1) отложение руд типа куроко; 2) образование жильных рудных тел, тяготеющих к зоне экзоконтакта штоков кварц-порфира. Рудные залежи типа куроко сопровождаются зонами изменения, в которых последовательно выделяются подзоны: серицит-калишпатовая, серицит-хлоритовая, плагиоклаз-серицит-хлоритовая, плагиоклаз-серицит-хлорит-монтмориллонитовая. В залбандах рудных жил зональность иная: выделяются пирофиллит-каолинит-серицит-хлоритовая, серицит-калишпатовая, серицит-хлоритовая, плагиоклаз-серицит-хлоритовая, плагиоклаз-серицит-хлорит-монтмориллонитовая подзоны (рис. 6). Отмечается вкрапленность пирита. Химический состав пирофиллитизированных пород приведен в таблице 6.

Таблица 6

Химический состав пирофиллитизированных пород месторождения Эзури (мас. %)

Оксиды	А	В	С
SiO ₂	64.88	76.45	58.38
TiO ₂	0.45	0.28	0.44
Al ₂ O ₃	25.79	14.62	28.01
Fe ₂ O ₃ +FeO	0.16	2.79	3.21
CaO	0.79	Tr	0.70
MgO	0.06	0.30	0.02
Na ₂ O	0.94	0.13	0.34
K ₂ O	0.34	0.10	0.02
ппп	5.66	5.00	8.78
S	0.02	1.49	-

Примечание: Типы: А — пирофиллитовый; В — кварц-пирофиллитовый с пиритом; С — каолинит-пирофиллитовый с пиритом.

3. Месторождения в метаморфизованных терригенно-глинистых образованиях палеозоя и мезозоя, содержащих пирокластический материал и пласты углей.

Известны месторождения пирофиллита в *отложениях пассивных континентальных окраин, внутренних морей и угленосных впадин палеозойского возраста* (Германия, Аргентина, Испания).

В случаях преобразования терригенно-глинистых толщ пирофиллит чаще всего образуется в результате метаморфизма исходных пород преимущественно каолинитового состава по реакции *каолинит + кварц = пирофиллит* [40]. Так, пирофиллитсодержащие сланцы ордовика (Эббезаттель, Германия) образовались по каолинитовым породам при диагенетическом процессе (типа эпизонального метаморфизма), связанном с глубинным плутоническим телом. Установлено, что температура формирования пирофиллита не превышала 300° С. Распределение первичного каолинитового материала определяется по характеру распределения пирофиллита в сланцах. Содержание пирофиллита не превышает 20 %, вместе с ним присутствуют серицит (40 %), хлорит (20 %), кварц (15 %) и порфиробласты мусковита по полемому шпату.

На месторождении глин формации Лас-Агуилас (провинция Буэнос-Айрес, Аргентина) два пирофиллитсодержащих прослоя по 1—1.5 м мощностью разделены пачкой кембрий-ордовикских конгломератов, псаммитов, кварцитов и красных глин [41]. Нижний слой содержит 30—60 % иллита, 20—40 % пирофиллита, 5—10 % каолинита, незначительное количество кварца, полевого шпата. Верхний слой состоит из пирофиллита, диаспора, иллита (содержание Al_2O_3 до 40 %, K_2O — до 7 %). Годовая добыча сырья составляет 0.2 млн т.

В палеозойских отложениях Приполярного Урала пирофиллит установлен в пачках так называемых «искристых» сланцев мощностью десятки метров в полосе протяженностью до 400 км. А. А. Малюгиным и Е. И. Сорокой [11] такие породы установлены в средней части хребта Малды-нырд. Здесь они залегают в двух позициях (рис. 7): ниже подошвы кварцевых конгломератов раннего ордовика (содержание пирофиллита не превышает 10 %); и в зонах тектонического контакта серицитизированных риолитов с теми же конгломератами (содержание пирофиллита достигает 90 %). В минеральный состав пород входят хлоритоид, кианит, гематит, реликтовые хлорит, мусковит, кварц, аксессуарные циркон и турмалин. Исходными породами явились

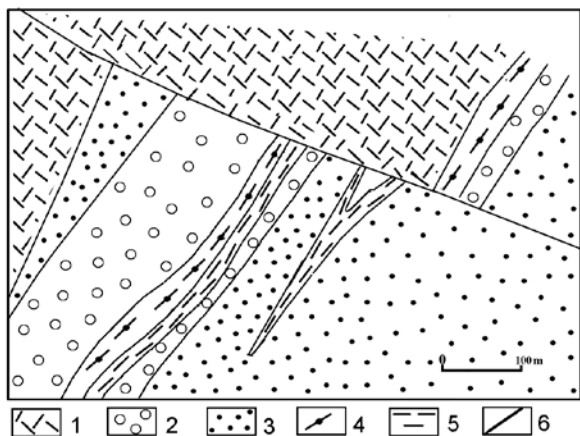


Рис. 7. Схематический геологический план проявления пиррофиллитовых пород хребта Малды-нырд, по [11]:

1 — риолиты малдинского массива; 2—3 — терригенно-осадочные породы раннего ордовика: 2 — конгломераты, 3 — гравелиты; 4 — пиррофиллитосодержащие породы; 5 — кварц-серицитовые породы; 6 — геологические границы

высокоглиноземистые и высококремнистые осадки раннего ордовика, в результате метаморфизма зеленосланцевой стадии ($t = 300\text{—}400^\circ \text{C}$, $P = 2$ кбар) преобразованные в пиррофиллитосодержащие породы (табл. 7).

Образование пиррофиллита, связанное с начальной стадией регионального метаморфизма каолиновых глин предполагается для пиррофиллитосодержащих толщ (карбонового возраста) Кизеловского и Карагандинского угольных бассейнов, а также пенсильванской (США) и вестфальской (З. Европа) угленосных свитах [4].

Мезозойские терригенно-глинистые толщи с пиррофиллитом известны в Австралии и Карпатах. В триассовых отложениях пиррофиллит установлен в районе Камбеварра (Австралия) [26]. Здесь пласты огнеупорных глин имеют мощность до 30 м и состоят из каолинита и пиррофиллита, образование которых связано с разложением полевых шпатов.

Пиррофиллитосодержащая формация Шела (Карпаты) представлена толщей юрского возраста хлоритовых, мусковитовых и углистых сланцев, переслаивающихся с метаконгломератами и углистыми метапесчаниками. Отдельные прослои содержат до 70 % пиррофиллитовой составляющей.

Таблица 7

**Химический состав пирофиллитсодержащих пород
хребта Малды-нырд (мас. %)**

Оксиды	А	В	С
SiO ₂	73.38	43.16	43.56
TiO ₂	0.50	0.68	0.75
Al ₂ O ₃	15.94	42.01	39.73
Fe ₂ O ₃	2.65	5.22	7.31
FeO	0.50	0.35	0.29
MnO	0.05	0.04	0.03
CaO	0.28	0.07	0.28
MgO	–	0.05	–
K ₂ O	3.70	0.28	0.46
Na ₂ O	0.27	0.09	0.14
ппп	1.98	7.20	7.09
Сумма	99.25	99.18	99.64

Примечание: Типы: А — кварц-серицитовый сланец; В — кианит-пирофиллитовый сланец; С — пирофиллит-хлоритоидная порода.

4. Проявления пирофиллита в кварцево-жильных гидротермальных системах.

Пирофиллитизация этого типа связана с низко- и средне-температурными стадиями образования гидротермальных жил среди магматических и метаморфических толщ. В Индии это месторождения в пределах крупных вертикальных кварцевых тел (так называемых «кварцевых рифов»), связанных с комплексом гранитоидов докембрия. Известные месторождения штатов Уттар-Прадеш и Мадхья-Прадеш (Центральная Индия) приурочены к зальбандам кварцевых жил мощностью до 100 м, протяженностью 10—20 км. Жилы преимущественно северо-восточного простирания субвертикально ориентированы среди архейских гранитов, мигматитов и гнейсов [16]. Минеральный состав сырья разнообразен: это пирофиллитовые, мусковит-пирофиллитовые, диаспор-пирофиллитовые и каолинит-пирофиллит-мусковитовые тонкодисперсные руды.

На рудном поле Ибитиара (Бразилия) развит комплекс Риодос-Ремедиос [19], состоящий из последовательно переслаивающихся пород — кварцевых риолитов, риодацитов, дацитов, их туфов и брекчий с прослоями сланцев, конгломератов и кварцитов. Для вулканогенных пород характерен эпизональный метаморфизм с локальным развитием милонитов и серицитовых сланцев, рассеченных жилами кварца. Лучшие образцы пирофиллита представлены радиально-лучистыми или розетковидными

агрегатами до 12 см диаметром от кремового до бледно-коричневого цвета, которые покрывают прозрачные кварцевые кристаллы или частично заключены в них. Ассоциирующими минералами, помимо кварца, являются гематит, лазулит, реже — андалузит.

На территории России пирофиллит, связанный с гидротермальными жилами *среди метаморфических пород палеозоя*, представляет минералогический интерес: как минеральный вид он был установлен в золото-кварцевых жилах Березовского месторождения на Урале в 1829 г. Р. Германом.

Пирофиллитовая минерализация приурочена к массиву габброидов среднепалеозойского возраста, разделяющего тектонические пластины, сложенные серпентинитами и вулканогенно-осадочными отложениями. По элементам залегания различают две системы широтных кварцевых жил: крутопадающие золотоносные ($\angle 75\text{—}85^\circ$) и более пологие безрудные ($\angle 45\text{—}55^\circ$). Пирофиллитовая минерализация установлена на площади поперечником около 1 км и фиксируется в пологих безрудных жилах, формирование которых происходило в заключительную стадию процесса рудообразования.

Выделены и изучены пирофиллит-турмалин-кварцевые, пирофиллит-турмалин-карбонат-кварцевые и карбонат-хлорит-пирофиллитовые жилы [18].

Пирофиллит в пирофиллит-турмалин-кварцевых жилах представлен розетковидными агрегатами, сферолитами и их сростками. Большинство сферолитов наряду с пирофиллитом содержат хлорит — донбассит, образование которого происходило на последних этапах гидротермального процесса в результате изоморфного замещения пирофиллита [3]. Одной из особенностей пирофиллита из пирофиллит-турмалин-кварцевых жил является наличие в нем примеси хрома (0.12—0.18 %), придающей минералу зеленый цвет.

В пирофиллит-турмалин-кварц-карбонатных жилах периферийная зона сложена кальцитом с обособленными 2—3 мм изометричными зернами светло-серого кварца. В центральной части прожилков присутствуют полосы, сложенные зеленовато-серым турмалином в сростании с кварцем, карбонатом и пирофиллитом. Пирофиллит образует серебристо-белые чешуйчатые агрегаты размером 1.5—2.5 мм.

В карбонат-хлорит-пирофиллитовых прожилках основная масса пирофиллита сконцентрирована в центральной части. Пирофиллит образует зеленовато-серые 0.3—1.0 мм сростки лапча-

той формы, реже встречается в виде плотной шелковистой массы, сложенной мелко- и скрыточешуйчатыми агрегатами. Хлорит образует нитевидные обособления мелкочешуйчатых агрегатов зеленовато-серого цвета в осевой части жилки. Там же отмечено и присутствие кальцита. Периферийная часть прожилков сложена изометричными зернами доломита и анкерита. Пирофиллит из карбонат-хлорит-пирофиллитовых и пирофиллит-турмалин-кварц-карбонатных жил близок к теоретическому химическому составу пирофиллита и является малохромистым (Cr 0.02 %).

Пирофиллит в зальбандах кварцевых жил, секущих серпентиниты описан на Пышминском месторождении (Средний Урал). Встречается в виде шестоватого или сферолитового агрегата бледно-зеленого цвета, размер индивидов до 1—2 см [6].

В альпийских кварцевых жилах Карпат пирофиллитовая минерализация изучена Г. Попеску и Е. Константинеску [4]. По данным термобарометрических исследований предполагаемая температура ее образования 160—180 °С, давление воды не превышает 1000 бар.

5. Коры выветривания по метаморфическим толщам и метасоматитам, содержащим пирофиллитовую минерализацию.

Пирофиллитсодержащие глины кор выветривания сланцев, образованных при метасоматозе палеозойских и мезозойских пород, известны в США, Испании, на Урале, Алтае.

На месторождении Клинтон (США) пирофиллитсодержащие глины образовались в результате выветривания сланцев миссисипи-пенсильванской сланцево-карбонатной толщи [34]. Глины состоят из пирофиллита (41—51 %), иллита (11—27 %), каолинита (5—19 %), смеси иллита и монтмориллонита (11—19 %), полевых шпатов (до 5 %). Продуктивная полоса имеет ширину 15—16 м при протяженности 2400 м и мощности 15—18 м. Годовая добыча составляет 0.75 млн т.

Мощная кора выветривания на Мазарском месторождении Домбаровского рудного района (Оренбургская обл.) связана с пирофиллитсодержащими сланцами рудоносной толщи [14]. Ее минеральный состав (каолинит-серицит-пирофиллит-кварцевый), отсутствие вредных примесей в химическом составе ($\text{SiO}_2 = 62.65$; $\text{TiO}_2 = 0.15$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 28.83$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} = 0.38$; $\text{CaO} = 0.13$; $\text{MgO} = 0.05$) и значительная мощность (15—35 м) позволяют рассматривать данный объект как потенциальное месторождение. Кора выветривания аналогичного генезиса и состава, но меньшего масштаба отмечена авторами на месторождении Куль-Юрт-Тау.

Использование пирофиллита в промышленности определяется свойствами минерала и содержащих его пород. Основными потребителями пирофиллитового сырья являются керамическая и огнеупорная промышленность, а так же предприятия по производству наполнителей бумаги, картона, резины, пластмасс, инсектицидов, технической керамики, изделий электротехнической промышленности и др. Мономинеральный пирофиллит используется в аппаратах высокого давления при производстве синтетических алмазов и как материал для камнерезного промысла (агальматолит).

Условия формирования месторождений пирофиллитового сырья

Условия формирования пирофиллита в различных геодинамических обстановках определялись составом и строением вулканогенных формаций и палеогеографией проявления вулканизма. Эти факторы влияли на образование и деятельность гидротермальных растворов. В некоторых случаях дополнительное воздействие на формирование залежей пирофиллитового сырья оказывал динамометаморфизм.

Состав и строение вулканогенных формаций определяют принципиальную возможность образования пирофиллита. Продуктивными являются формации с кислыми и средними вулканами нормальной и повышенной щелочности, поскольку их кислотная среда приводит к формированию концентрированных гидротерм (pH<3), необходимых для процесса пирофиллитизации. Кроме того, в этих породах незначительно содержание компонентов темноцветных минералов (Fe, Ca, Mg и др.), т. е., эффективность кислотного выщелачивания, сопровождающегося их выносом, значительно выше. Строение вулканогенных формаций определяет пути движения и условия концентрации гидротерм. Наиболее благоприятными для образования пирофиллитовых залежей являются палеовулканы, осложненные кальдерами, и вулcano-тектонические депрессии. В них формируются ловушки с гидротермальными растворами, длительно воздействующими на исходный субстрат. В зависимости от нарушенности вулканических сооружений формировались либо плащеобразные, либо линейные тела метасоматитов, что определяет морфологию пирофиллитовых залежей. Размещение пирофиллитовой минерализации связано с фаціальными особенностями вулканитов: крупные залежи пирофиллитового сырья обычно приурочены к пери-

ферии риолито-дацитовых куполов и околожерловым зонам, где развиваются горизонты пирокластов и гиалокластитов.

Палеогеографические условия регулируют режим гидротермальной деятельности и состав растворов, что связано с разными геодинамическими обстановками их формирования. Гидротермы в наземных условиях возникают с участием вадозных вод, поэтому они более кислые, чем в островных вулканических сооружениях, где имеется примесь щелочных морских вод, и в подводных, где их количество преобладает. В наземных условиях фоновыми новообразованными минералами являются гидрослюда, цеолиты, монтмориллонит, а в продуктах кислотного выщелачивания, кроме пиррофиллита, широко развиты алунит, каолинит, диккит, диаспор. В случае островных дуг, серно-кислотные термальные растворы не только активно выносят фемические элементы, но и растворяют сульфиды, формируя залежи высококачественного пиррофиллитового сырья.

О *составе растворов*, обеспечивающих пиррофиллитизацию пород, свидетельствуют данные по изучению гидротерм в областях современной вулканической деятельности, экспериментальные исследования, результаты газовой хроматографии и декрепитации пиррофиллита из древних месторождений. В современных гидротермальных полях с пиррофиллитом (на Тайване и в Японии), близповерхностные воды характеризуются кислой реакцией, высокими отношениями $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$, относительно низкими концентрациями K и Na. Пиррофиллитизация происходит в условиях агрессивных вод (pH 1.2—3.0, температура 250—290 °C) в присутствии H_2S , SO_2 , CO_2 , HCl, с последующим окислением SO_2 до H_2SO_4 . При экспериментальных исследованиях по синтезу пиррофиллита [5] получены следующие параметры растворов: температура 280—420 °C, pH 1—3, давление общее 1000 кг/см², активность ионов калия 0.1 г-ион-кг H_2O . Декриптометрические исследования позволили установить интервалы декрепитации газовой-жидких включений в пиррофиллитах месторождений Урала (260—420 °C) и Украины (260—340 °C). В результате проведенных дифференцированных хроматографических анализов в обоих случаях определено присутствие CO_2 . Наличие SO_2 в составе газовой-жидких включений в пиррофиллитах с уральских объектов отражает их связь с колчеданосными гидротермальными системами.

Влияние *динамометаморфизма* на пиррофиллитовые залежи проявляется в случае их приуроченности к зонам тектонических дислокаций. Во-первых, это отражается на текстурно-структурных особенностях сырья (сланцеватые текстуры, бласто-

вые и лепидобластовые структуры), во-вторых, высокая проницаемость зон динамометаморфизма способствует циркуляции растворов при повторном метасоматозе метасоматитов с окончательным выносом Fe, S, Mg, Ca и образованию чистых от примесей типов сырья.

Анализ условий формирования месторождений пиррофиллитового сырья показал, что определяющим фактором является геодинамическая обстановка. В период вулканизма ею обусловлен состав магм, уровень магматических очагов, типы вулканических сооружений, их положение относительно континентальной и океанической коры и морских бассейнов. Эти обстоятельства определяют состав гидротермальных растворов и динамику метасоматических процессов. На поствулканической стадии от геодинамической обстановки зависят характер тектонических дислокаций и, соответственно, условия залегания ранее сформированных или новообразованных при региональном или динамическом метаморфизме залежей пиррофиллитового сырья.

Литература

1. *Аршинов В. В., Черношвилов Ю. Л.* Требования промышленности к качеству минерального сырья: Пиррофиллит. М., Л.: Госгеолтехиздат, 1946. Вып. 16. 32 с.
2. Геология и минеральные ресурсы Японии. М.: Изд-во Иностранной литературы. 1961. 286 с.
3. *Делицын Н. Г., Звягин Ю. В., Сидоренко О. В.* Преобразование пиррофиллита в ди-триоктаэдрический хлорит // Докл. АН СССР, 1981, Т. 258. № 3. С. 738—740.
4. *Зайков В. В., Кораблев Г. Г., Удачин В. Н.* Пиррофиллитовое сырье палеовулканических областей. М.: Наука. 1989. 128 с.
5. *Зарайский Г. П.* Зональность и условия образования метасоматических пород. М.: Наука. 1989. 341 с.
6. *Иванов О. К.* Пиррофиллит на Урале // Минералогия техногенеза и минерально-сырьевые комплексы Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 107—113.
7. *Какабадзе Н. А., Рудина З. Б.* Шарукарские пиррофиллитизированные туфы как сырье для огнеупорной промышленности // Бюл. КИМС. Тбилиси. 1958. № 1. С. 75—85.
8. *Каишай М. А.* Пиррофиллиты // Геология Азербайджана: Нефтяные и рудные ископаемые. Баку: Изд-во АН АзССР. 1957. С. 401—425.
9. *Козырев В. Н.* Сырьевые ресурсы талька, волластонита, пиррофиллита для керамической промышленности. М: ВНИИЭСМ, 1973. 41 с.
10. *Кофман Р. Г.* Пространственно-временное соотношение алунитовых и пиррофиллитовых руд со скарнами Дашкесанского рудного района // Скарны и руды. Новосибирск: Наука. 1983. С. 55—62.

11. *Малюгин А. А., Сорока Е. И.* Пирофиллитовые породы Приполярного Урала // Геология, минералогия и технология пирофиллитового сырья. Свердловск: УрО АН СССР. 1991. С. 69—79.
12. *Синяковская И. В.* Пирофиллитсодержащие метасоматиты колчеданных месторождений Южного Урала как потенциальное керамическое и огнеупорное сырье (на примере месторождения Куль-Юрт-Тау, Башкортостан). Автореф. дисс.... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург. 1994. 16 с.
13. *Танкилевич И. М.* Новое о генезисе пирофиллита в породах овручской серии верхнего протерозоя // Геологический журнал. 1976. Т. 36, вып. 3. С. 88—96.
14. *Удачин В. Н.* Пирофиллитсодержащие метасоматиты Домбаровского рудного района (Южный Урал) // Геология, минералогия и технология пирофиллитового сырья. Свердловск: УрО АН СССР. 1991. С. 97—104.
15. *Удачин В. Н.* Пирофиллитовое сырье Гайского месторождения. Автореф. дисс.... канд. геол.-минер. наук. Новочеркасск. 1993. 19 с.
16. *Финько В. И., Аракелянц М. М., Беус А. А и др.* Возраст диаспор-пирофиллитовых месторождений Центральной Индии // Геология и полезные ископаемые древних платформ. М.: Наука. 1984. С. 138—143.
17. *Штавеман А. В.* Пирофиллит Суранского месторождения как керамическое сырье // Стекло и керамика. 1959. № 2. С. 31—34.
18. *Юминов А. М.* Состав пирофиллита Березовского месторождения // Минералогия Урала. Том II. Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. С. 171—173.
19. *Cassedanne J. P.* Pyrophyllite from Ibitiara, Brazil // The mineralogical record. V. 20. 1989. P. 465—467.
20. *Cornish B. E.* Australian pyrophyllite and its growing influence in world markets // Proc. IV Ind. Miner. Intern. Congr., Atlanta (Ga.), 1980. Worcester Park, 1981. P. 179—183.
21. *Ishikawa Y., Sovanako M., Matsueda H.* Distinctions of near-ore changes around ore bodies of a type a Kuroko and veined bodies on a deposit Ezuri, Hokuroku district, Akita prefecture, Japan // Rept. of Mining College, Akita Univ. 1987. № 52. P. 1—13. (in Japan).
22. *Fujii N.* The present position of Japanese pyrophyllite // Ind. Miner. (Gr. Brit). 1983. № 194. P. 21—27.
23. *Kamitani M.* Hydrothermal alteration at the Uku «roseki» mine, Yamaguchi prefecture // Mining Geol. 1974. 24 (1). P. 31—43.
24. *Kusanagi T.* On the geological structure and its relation to the mineralization in the rhyolitic complex of Ashio mine // Min. Geol. 1955. № 5. P. 1—12.
25. *Loughnan F. C., Steggle K. R.* Cookeite and diaspore in the Back Creek pyrophyllite deposit near Pambula, New South Wales // Miner. Magazine, September, 1976. V. 40. P. 765—772.

26. *Loughnan F. C., Ward C. R.* Pyrophyllite-bearing flint clay from the Cambewarra area, New South Wales // *Clay Miner.* 1971. V. 9. № 1. P. 83—95.

27. *MacKenzie K. J. D., Brown I. W. M. et al.*, 1985. Thermal Reactions of Pyrophyllite Studied by High-Resolution Solid-State ^{27}Al and ^{29}Si Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy // *J. Am. Ceram. Soc.* V. 68. № 5. P. 266—272.

28. *Matsumoto K.* On the geology and pyrophyllite deposits of the Yano Shokozan Mine, Hiroshima prefecture // *Jour. of Science of the Hiroshima Univ.* 1968. Series C. V. 10. № 1. P. 1—24.

29. *Mihalik A., Konechy V., Valach J.* Vyskyt pyrofylytu v hydrotermálne premenených neovulkanitoch Javoria (Stredne Slovensko) // *Miner. slov.* 1975 (1976). V. 7. № 1/2. P. 105—112.

30. *Nichol D.* Pyrophyllite operations at Pambula, Australia // *Ind. Miner. (Gr. Brit.).* 1983. № 194. P. 31—35.

31. *Papezik V. S., Kests H. F., Vahtra I.* Geology of the Foxtrap pyrophyllite deposits, Avalon peninsula, Newfoundland // *C. I. M. Bull.* 1978. V. 71. № 791. P. 152—160.

32. *Philip Neal J.* North Carolina — mineral producer for the ceramic industry // *Ceramic engineering and Science Proceedings.* 1983. V. 4. № 11—12. P. 955—961.

33. *Pimenta M. M., Damiani M. P.* Agalmatolite — a Brazilian white extender // 8th Jnd. Miner. Jnt. Congr., Boston, 24—27 Apr. 1988. P. 117—126.

34. Pyrophyllite-bearing clay in Clinton deposit, Utah County, Utah // *Spec. Stud. Utah Geol. and Miner. Surv.* 1968. № 23. P. 28—29.

35. *Sang Ki Nam.* Pyrophyllite clay deposits in the Republic of Korea // *Ind. Miner.* 1983. № 194. C. 30—31.

36. *Soirat M.* Gisement de roches a pyrophyllite au Maroc. Resultats d'essais et evaluation des possibilites d'utilisation // *Ind. ceram.* 1976. № 698. P. 599—604.

37. *Taras Bryndzia L.* The origin of diaspore and pyrophyllite in the Foxtrap pyrophyllite deposit, Avalon peninsula, Newfoundland: a reinterpretation // *Economic Geology.* V. 83. 1988 P. 450—453.

38. *Tran Xuan Toan.* Secondary quartzites and the formation of kaolin, pyrophyllite and alunite deposits of Tan Mai region, Viet Nam // 2nd World Congress on Non-metallic Minerals. Beijing, China. 1989. P. 201—207.

39. *Ulrich B., Lesh L.* Pyrophyllite (Institut für mineralische Rohstoff und Lagerstättenwirtschaft, Dresden) // *Silikat Techn.* 1987. № 8. S. 274—275.

40. *Winkler H. G. F.* Das P-T-feld der diagenese und niedrigtemperierten metamorphose auf grund von mineralreaktionen // *Beitrage zur Miner. Petrog.* 1964. № 10. P. 70—93.

41. *Zalba P. E.* Clay deposits of Las Aguilas Formation, Barker, Buenos Aires Province, Argentina // *Clays and Clay Miner.* 1979. V. 27. № 6. P. 433—439.

42. *Zaykov V. V., Udachin V. N., Sinyakovskaya I. V.* Pyrophyllite deposits // *Int. Geol. Rev.* 1988. V. 30. P. 90—103.